

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan. Sungai juga bisa diartikan sebagai bagian permukaan bumi yang letaknya lebih rendah dari tanah disekitarnya dan menjadi tempat mengalirnya air tawar menuju ke laut, danau, rawa atau ke sungai yang lain. Sungai adalah bagian dari permukaan bumi yang karena sifatnya, menjadi tempat air mengalir. Dapat disimpulkan bahwa sungai adalah bagian dari daratan yang menjadi tempat - tempat aliran air yang berasal dari mata air atau curah hujan.

Banjir adalah air yang meluap dari badan air seperti selokan, saluran air, drainase, sungai, danau, dan menggenangi bantaran serta kawaasan sekitarnya. Banjir diakibatkan oleh volume air di suatu badan air seperti sungai atau danau yang meluap atau menjebol bendungan sehingga air keluar dari batasan alaminya. (Asdak 2010)

2.2 Sistem Pengendalian Banjir

Sistem pengendalian banjir untuk perbaikan alur kali dilakukan dengan menetapkan beberapa karakteristik alur kali yaitu formasi trase alur kali, kemiringan memanjang kali, formasi penampang kali (lebar rencana kali, bentuk rencana penampang kali), dan rencana penempatan bangunan-bangunan kali. Pengendalian banjir pada dasarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun yang terpenting adalah dipertimbangkan secara keseluruhan dan dicari sistem yang paling optimal.

Menurut Asdak Kegiatan pengendalian banjir menurut lokasi/daerah pengendaliannya dapat dikelompokkan menjadi dua:

1. Bagian hulu: yaitu dengan membangun dam pengendali banjir yang dapat memperlambat waktu tiba banjir dan menurunkan besarnya debit banjir, pembuatan waduk lapangan yang dapat merubah pola hidrograf banjir dan penghijauan di Daerah Aliran Sungai.
2. Bagian hilir: yaitu dengan melakukan perbaikan alur sungai dan tanggul, sudetan pada alur yang kritis, pembuatan alur pengendali banjir atau flood way, pemanfaatan daerah genangan untuk retarding basin dsb.

Sedangkan menurut teknis penanganan pengendalian banjir dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

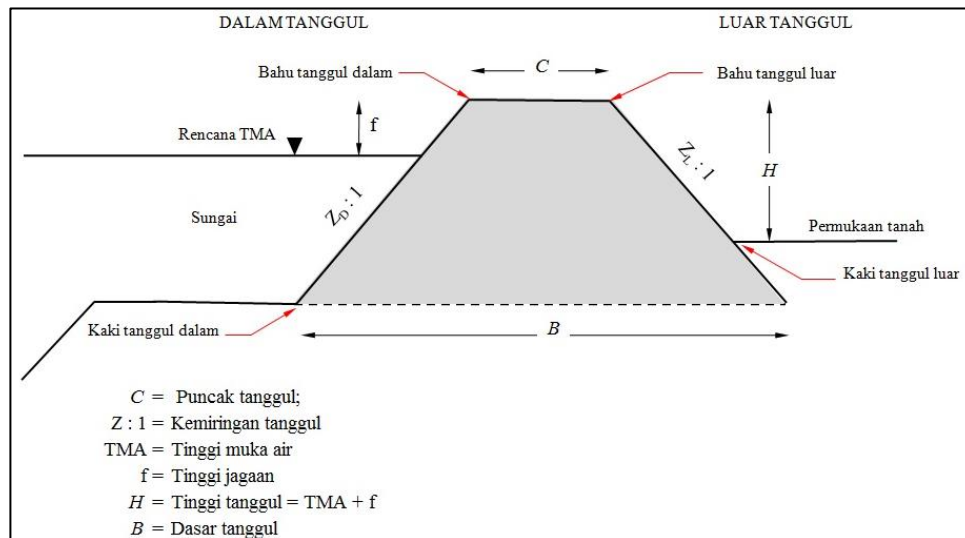
1. Pengendalian banjir secara teknis (metode struktur).
2. Pengendalian banjir secara non teknis (metode non-struktur).

2.2.1 Tanggul Banjir

Tanggul adalah dinding/tembok penghalang yang didesain untuk menahan air banjir di palung sungai untuk melindungi daerah di sekitarnya. Fungsi tanggul adalah untuk menambah kapasitas penampang sungai sehingga banjir tidak meluap ke daerah sekitar aliran sungai (Sosrodarsono, 1985). Pembuatan tanggul berarti merubah pola aliran dan angkutan sedimen pada sungai tersebut. Muka air yang bertambah tinggi dan kecepatan aliran bertambah. Maka sedimen yang semulanya mengendap didaerah genangan, dengan adanya tanggul, sedimen yang mengendap dibantaran sungai dan selebihnya akan terangkut dan mengalir ke hilir. Tinggi tanggul akan ditentukan berdasarkan tinggi muka air rencana pada kala ulang 25 tahun dengan penambahan jagaan yang diperlukan. Jagaan adalah tinggi tambahan dari tinggi muka air rencana dimana air

tidak diijinkan melimpah. Tanggul juga berfungsi untuk melokalisir banjir di sungai, sehingga tidak melimpas ke kanan dan ke kiri sungai yang merupakan daerah peruntukan.

Bagian – bagian tanggul dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



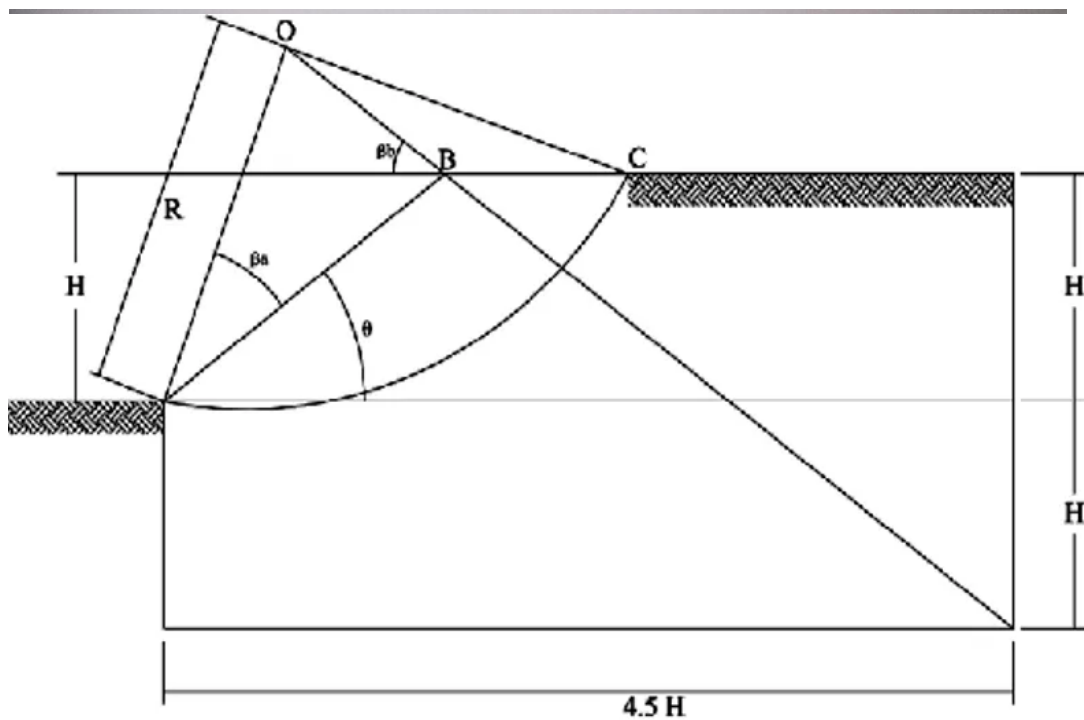
Gambar 2.1 Bagian – bagian tanggul

Sumber : Bambang S, 2014

Pada perencanaan perhitungan tanggul ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Berikut adalah hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tanggul adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas tanggul

Untuk menguji stabilitas tanggul, metode yang digunakan adalah metode irisan Bidang Luncur Bundar, diperlukan titik bidang Luncur kritis yang dapat ditentukan dengan Metode irisan. Penggambaran bidang luncur kritis serta nilai sudut nya ditunjukkan pada gambar 2.2 dan tabel 2.1 berikut :



Gambar 2.2 Stabilitas tanggul

Sumber : Surendra, 2014

Tabel 2.1 Harga sudut θ , β_a , dan β_b

Kemiringan Lereng	θ	β_a	β_b
1 : 0,58	60,00	29,00	40,00
1 : 1,00	45,00	28,00	37,00
1 : 1,50	33,80	26,00	35,00
1 : 2,00	26,60	25,00	35,00
1 : 3,00	18,40	25,00	35,00
1 : 5,00	11,30	25,00	37,00

Sumber : Surendra (2014)

Berikut adalah persamaan untuk menghitung stabilitas tanggul menggunakan metode Irisan Bidang Luncur Bundar:

$$F_s = (\sum(C.L + (N - U)\tan\theta)/(\sum T) \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

F_s = angka keamanan

- C = koefisien kohesi tanah bidang luncur
- L = lebar irisan bidang luncur
- N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan
- U = tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan

2. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan pada tanggul berfungsi sebagai keamanan tambahan apabila terjadi banjir dengan debit yang melebihi dari debit rencana. Tinggi jagaan juga berfungsi agar tanggul bisa digunakan hingga jangka waktu beberapa tahun yang akan datang. Berikut ketentuan tinggi jagaan yang diperlukan yang ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Tinggi Keamanan Tanggul

NO	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)	Jagaan (m)
1	<200	0.6
2	200-500	0.8
3	500-2000	1.0
4	2000-5000	1.2
5	5000-10000	1.5
6	>10000	2.0

Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H

Tabel 2.3 Hubungan Debit dengan Lebar Mercu

NO	Debit Banjir Rencana (m ³ /dt)	Jagaan (m)
1	Kurang dari 500	3
2	500-2000	4
3	2000-5000	5
4	5000-10000	6
5	10000 atau lebih	7

Sumber: *Aplikasi Hidrologi, Nugroho H*

2.2.2 Normalisasi

Normalisasi merupakan memperbesar kapasitas tampung kali akibat penyempitan penampang. Akibat kondisi sungai tersebut, air banjir tidak dapat dilewatkan dengan cepat dan aman, karena daya tampung sungai tidak dapat menampung seluruh debit sungai yang meluap ke daerah kiri kanan sungai yang bisa menimbulkan genangan, maka perlu ditinjau dengan adanya sistem pengendalian banjir dengan melakukan normalisasi alur atau memperbesar kapasitas pengaliran sungai yang

bertujuan untuk mempercepat aliran banjir agar didaerah tersebut tidak tergenang banjir.

2.3 Analisa Hidrologi

Pada perhitungan analisa hidrologi meliputi data curah hujan dan perhitungan debit. Dari data yang ada akan digunakan untuk perencanaan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu.

2.4 Analisa Curah Hujan Rata - rata

Untuk perhitungan hidrologi daerah aliran sungai (DAS) diperlukan perhitungan hujan rata – rata. Dalam perhitungan hujan rata – rata daerah aliran sungai ada beberapa metode yang sering digunakan yaitu :

1. Metode Arithmatik (Mean Arithmatik Methode)

Metode arithmatik baik digunakan untuk daerah datar dan penyebaran hujannya merata. Perhitungan menggunakan metode ini caranya adalah dengan membagi rata jumlah hujan dari hasil pencatatan stasiun yang ada pada daerah aliran sungai, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut: (Hadisusanto, 2010)

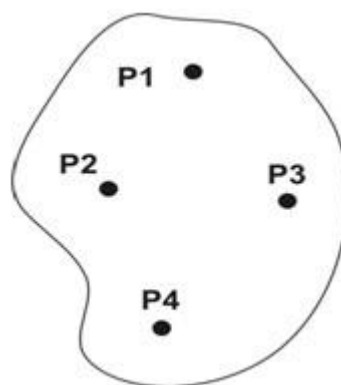
$$\bar{P} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan:

\bar{P} = hujan rata – rata (mm)

P_1, P_2, P_3, P_n = jumlah hujan di setiap stasiun yang diamati (mm)

n = banyaknya stasiun yang diamati



Gambar 2.3 Aritmatik

(Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H.)

2. Metode Poligon Thiessen

Metode Poligon Thiessen baik digunakan untuk daerah yang stasiun hujannya tidak merata. (Bambang Triatmojo, 2009)

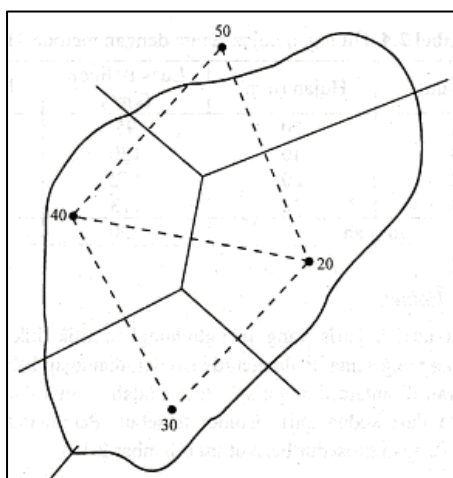
$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} a \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

P_1, P_2, \dots, P_n = curah hujan di tiap stasiun pengukuran (mm)

A_1, \dots, A_n = luas bagian daerah yang mewakili tiap stasiun pengukuran (km²)

\bar{P} = hujan rerata kawasan.



Gambar 2.4 Thiessen Poligon

(Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H.)

Dalam tugas akhir ini digunakan cara Thiessen untuk memperhitungkan hujan rata-rata. Cara Thiessen inilah cara yang memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan (luas daerah pengaruh) untuk digunakan sebagai factor

dalam menghitung hujan rata-rata . Menurut Thiessen, luas pengaruh dari setiap stasiun ditentukan dengan cara:

- a. Menghubungkan masing-masing stasiun hujan dengan garis polygon.
- b. Membuat garis berat antara 2 stasiun hujan hingga bertemu garis berat lainnya pada satu titik dalam polygon.
- c. Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada polygon.
- d. Luas sub-area masing masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

3. Metode Ishoyet

Ishoyet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah yang sama (Hadisusanto, 2010). Metode Isohiet baik digunakan untuk daerah pegunungan.

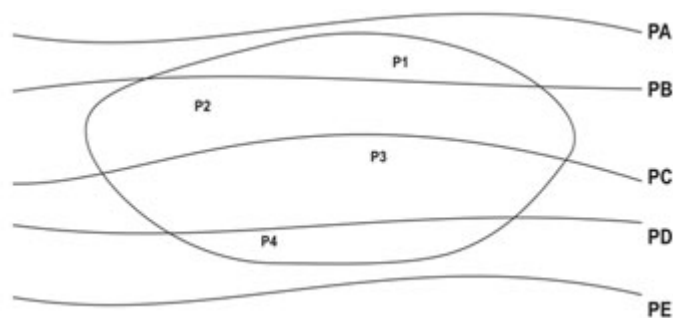
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1+I_2}{2} + A_2 \frac{I_1+I_2}{2} + A_n \frac{I_n+I_{n+1}}{2}}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

\bar{P} = hujan rerata kawasan

I_1, I_2, \dots, I_n = garis isohiet ke 1,2,3....n,n+1

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang dibatasi oleh garis isohiet ke 1 dan 2, 2 dan 3,....n dan n+1



Gambar 2.5 Ishoyet

(Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H.)

2.5 Analisa Curah Hujan Rencana

Setelah menghitung curah hujan rata-rata dengan metode Thiessen Polygon, kemudian langkah selanjutnya yaitu menghitung curah hujan rencana. Curah hujan rencana adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan tertentu atau merupakan suatu curah hujan dengan periode-periode ulang tertentu yang dipakai sebagai dasar perhitungan dalam perencanaan suatu dimensi bangunan air. Perhitungan curah hujan rencana didasarkan pada analisis frekuensi, dengan sasaran utama untuk menentukan kala ulang peristiwa hidrologi yang berharga tertentu, yang mencakup juga peristiwa yang diharapkan menyamai atau lebih besar dari reratanya.

Dalam menganalisa curah hujan rencana biasanya dipakai salah satu dari bermacam-macam teori yang ada antara lain:

- a. Distribusi Log Pearson type III
- b. Distribusi Gumbel
- c. Distribusi Log Normal

Untuk masing-masing jenis distribusi diatas yang sesuai dengan perhitungan curah hujan didasarkan pada ciri khas dan nilai-nilai koefisien yang didapat dari parameter statistik.

1. Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sx}{X} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum(Xi-X)^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(2.7)$$

2. Koefisien Ketajaman (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \sum(Xi-X)^4}{(n-1).(n-2).(n-3).Sx^4} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

n= jumlah data

X_i = data hujan (mm)

X= data hujan rata-rata

Sx= simpangan baku

3. Koefisien Simetris (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum(Xi-X)^3}{(n-1)(n-2).Sx^3} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

n = jumlah data

X_i = data hujan (mm)

X = data hujan rata-rata

Sx = simpangan baku

Persyaratan pemakaian distribusi tersebut didasarkan pada nilai Cs dan Ck yang didapat berdasarkan rumus yang tertulis di atas, setelah nilai Cs dan Ck didapat maka distribusi apa yang akan digunakan nanti dapat dilihat berdasarkan persyaratan yang tercantum pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Persyaratan Pemilihan Distribusi Frekuensi

Distribusi Frekuensi	Parameter Data Statistik	
	Koefisien Skewness (Cs)	Koefisien Kurtosis (Ck)
Gumbel	1.14	5.4
Distribusi Normal	$-0.015 \leq Cs \leq 0.05$	$2.7 \leq Ck \leq 3.3$
Log Person type III	Bebas*	$1.5Cs^2 + 3$

Sumber: Nugroho Hadisusanto, 2010

*) Bila tidak ada yang mendekati parameter Gumbel dan Distribusi Normal, tersedia tabel nilai K distribusi Log Person Type III $-3 \leq Cs \leq 3$

a. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah simetris terhadap sumbu vertikal dan berbentuk lonceng. Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu rerata μ dan deviasi standar σ dari populasi. Dalam praktek rerata ini memiliki nilai rerata \bar{X} dan deviasi standar s diturunkan dari data sampel untuk mengganti μ dan σ .

Fungsi distribusi normal mempunyai bentuk:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan x adalah variabel random dan $p(X)$ adalah fungsi probabilitas kontinyu.

b. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi untuk nilai di distribusi normal masih memenuhi. Distribusi log normal sebagai distribusi pengubah dapat dimodelkan dengan melakukan transformasi, dalam hal ini digunakan dengan persamaan transformasi berikut:

$$y = \ln x \text{ atau } y = \log x$$

Parameter dari distribusi log normal adalah rerata dan deviasi standar dari y yaitu

μ_y dan σ_y , dengan menggunakan transformasi sebagai berikut:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu_y)^2 / (2\sigma_y^2)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Sifat-sifat distribusi log normal, berikut:

Nilai kemencengan. $C_s = c_v^3 + 3c_v \dots\dots\dots(2.12)$

Nilai kurtosis : $ck = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 \dots\dots\dots(2.13)$

c. Distribusi Log Person III

Menghitung hujan rencana menggunakan distribusi log person III dikarenakan banyak digunakan dalam hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum. Distribusi log person III mempunyai bentuk sebagai berikut (Hadisusanto, 2010):

$$\text{Log } R = \log \bar{R} + k \cdot (\text{Sd } \text{Log } \bar{R}) \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

R = Curah dengan kala ulang T tahun (mm)

Log R = Harga logaritma untuk curah hujan rata-rata

Sd Log R = Standart deviasi untuk Log R

K = Koefisien yang harganya tergantung pada nilai koefisien kepercengan (C_s) dan return periode (T)

Urutan perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Mencari harga Log \bar{R}

$$\text{Log } \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n \log R}{n} \dots\dots\dots(2.15)$$

- a. Mencari harga Standart Deviasi

$$S_{\log R} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log R - \log \bar{R})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(2.16)$$

b. Mencari harga kecepencengan (Cs)

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log R - \log \bar{R})^3}{(n-1)(n-2)S_{\log R}^3} \dots\dots\dots (2.17)$$

Tabel 2.5 Nilai K Distribusi Log Person type III

Cs	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
2,5	-0,36	0,518	1,25	2,262	3,048	3,845	4,652	6,6
2,2	-0,33	0,574	1,284	2,24	2,97	3,705	4,444	6,2
2	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,91
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,66
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,78	3,388	3,99	5,39
1,4	-0,255	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,11
1,2	-0,195	0,732	1,34	2,087	2,626	3,149	3,661	4,82
1	-0,164	0,758	1,34	2,043	2,542	3,022	3,489	4,54
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,78	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,25
0,7	-0,116	0,79	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,96
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,91	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,88	2,261	2,615	2,949	3,67
0,3	-0,05	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,38
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4	2,67	3,235
0	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,09
-0,1	1,017	0,836	1,27	1,716	2	2,252	2,482	2,95
-0,2	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178	2,388	2,81
-0,3	0,05	0,853	1,245	1,643	1,89	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,294	2,675
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,201	2,54
-0,6	0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88	2,016	2,275
-0,7	0,166	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,15
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,66	1,749	1,91
-1	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,8
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625

Sumber: Nugroho Hadisusanto, 2010

d. Distribusi Gumbel

Distribusi gumbel digunakan untuk analisa data maksimum dan digunakan untuk analisa frekuensi hujan. Fungsi dentitas kumulatif mempunyai bentuk:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

$$y = \frac{x-u}{a} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$a = \frac{\sqrt{6s}}{\pi} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$u = \bar{x} - 0,5772 a \dots\dots\dots(2.21)$$

dengan:

y = faktor reduksi Gumbel

u = modus dari distribusi (titik dari densitas prababilitas maksimum)

s = deviasi standar

Distribusi Gumbel mempunyai sifat bahwa koefisien skewness $c_v = 1,1396$ dan koefisien kurtosis $C_k = 5,4002$ (Hadisusanto, 2010)

2.6 Pengujian Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Pengujian ini ada 2 cara untuk menguji apakah jenis distribusi yang dipilih ini sesuai dengan data yang ada, yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov Kolmogorov. Uji ini dilakukan setelah hubungan antara kedalaman hujan atau debit dan nilai probabilitas.

2.6.1 Metode Smirnov-Kolmogorof

Uji Smirnov Kolmogorov digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal. Perhitungan dimulai dengan mengurutkan data (x) dari kecil ke besar dan menghitung simpangan maksimum (Adlyatma, 2013). Pengujian distribusi metode Smirnov Kolmogorov didasarkan pada perhitungan probabilitas dan plotting data untuk mengetahui data yang mempunyai simpangan terbesar.

a. Probabilitas dihitung dengan rumus Weibull sebagai berikut:

$$P = \frac{n}{m+1} x 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$

dengan:

P = probabilitas

m = nomor urut data seri yang telah disusun

n = besarnya data

- b. Menghitung nilai G untuk mengetahui probabilitas dari data yang mempunyai simpangan terjauh berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Log } X = \text{Log } \bar{X} + G \times S \dots\dots\dots(2.23)$$

- c. Pengujian kesesuaian Metode Smirnov Kolmogorov dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_x = 1 - (Pr) \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\Delta_{\max} = S_n - P_x \dots\dots\dots(2.25)$$

dengan:

Δ_{\max} = selisih maksimum antara peluang empiris antara peluang dan peluang teoritis

S_n = peluang teoritis

P_x = peluang empiris

Syarat distribusi dapat diterima jika $\Delta_{\max} < \Delta_{\text{kritis}}$

$v \backslash \alpha$	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.67
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$n > 50$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Tabel 2.6 Nilai Delta Kritis (d_{cr}) untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H.

2.6.2 Metode Chi-Kuadrat (Chi -Square)

Uji kesesuaian Metode Chi-Kuadrat dilakukan untuk menguji kebenaran suatu distribusi yang digunakan pada perhitungan frekuensi analisis. Uji Chi-Kuadrat bisa dilakukan dengan car berikut: (Nugroho Hadisusanto, 2010)

- Mencari nilai X dengan probabilitas 80%, 60%, 40% dan 20%, dengan mencari nilai G pada tiap probabilitas dari tabel Log Pearson III hubungan antara nilai Skewnes dengan probabilitas yang dimaksud.

- Menghitung nilai X untuk menentukan batas kelas dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Log X Log } \bar{X} + G. Sd \dots\dots\dots(2.26)$$

- Menentukan jumlah kelas pengamatan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah kelas} = 1 + 3,3 \text{ Log. } n \dots\dots\dots(2.27)$$

- Menentukan frekuensi pengamatan dari data curah hujan harian maksimum dengan batasan sebagaimana hasil perhitungan di atas

e. Uji kesesuaian Metode Chi Square menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X^2 = \frac{(OJ-EJ)^2}{EJ} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan:

X^2 = harga Kai kuadrat.

Ej = frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya (= 20% x n).

Oj = frekuensi terbaca pada kelas yang sama.

Nilai Syarat distribusi dapat diterima jika X perhitungan lebih kecil dari X pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Harga untuk Uji Chi-Kuadrat

Percentage Points of the Chi-Square Distribution									
Degrees of Freedom	Probability of a larger value of x^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Sumber: Nugroho H. 2010

2.7 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran merupakan suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut. Berikut kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

- a. Keadaan hujan.
- b. Luas dan daerah aliran.
- c. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar kali
- d. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah.
- e. Kelembaban tanah
- f. Suhu udara, angin dan evaporasi
- g. Tata guna lahan.

Koefisien pengaliran yang dipakai untuk perhitungan pada lokasi studi adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Koefisien Pengaliran (C).

No	Penggunaan Lahan	Koef. Pengaliran	Sub Das II		
			Luas	Bobot	C*Bobot
1	Hutan / lahan kering	0,03	-	-	-
2	Semak Belukar	0,07	9,559	0,105	0,032
3	Hutan Primer	0,02	-	-	-
4	Hutan Tanaman Industri	0,05	-	-	-
5	Hutan rawa	0,15	-	-	-
6	Perkebunan	0,4	23,462	0,258	0,129
7	Pertanian lahan kering	0,1	5,080	0,056	0,028
8	Pertanian Lahan kering campur semak	0,1	-	-	-
9	Pemukiman	0,6	5,834	0,064	0,045
10	Sawah	0,35	47,042	0,517	0,181
11	Tambak	0,05	-	-	-
12	Terbuka	0,2	-	-	-
13	Perairan	0,05	-	-	-
Luas Total			90,977		
Koef Pengaliran Rencana					0,414

Sumber: Kodatie dan Syarief 2005

2.8 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu. Untuk menaksir hujan rencana digunakan cara hidrograf satuan yang didasarkan oleh parameter dan karakteristik daerah pengalirannya.

a. Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Debit banjir dihitung menggunakan pendekatan hidrograf satuan sintetis nakayasu dengan langkah-langkah sebagai berikut. Besarnya nilai debit puncak hidograf satuan dihitung dengan rumus :

$$Qp = \frac{1}{3,6} \times \frac{A \times Ro}{(0,3 \times Tp) + T_{0,3}} \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana:

Qp = debit puncak banjir (m^3/det)

A = luas daerah aliran sungai (km^2)

Ro = hujan satuan (mm)

Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncakbanjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

Menurut Nakayasu, waktu naik hidrograf bergantung dari waktu konsentrasi, dan dihitung dengan persamaan:

$$T_p = tg + 0,8tr \dots\dots\dots(2.30)$$

$$T_{0,3} = a. tg \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan:

tg = waktu konsentrasi (jam)

tr = satuan waktu hujan (diambil 1 jam)

Waktu konsentrasi dipengaruhi oleh panjang kali utama (L):

$$\text{Jika } L < 15 \text{ km : } tg = 0,21 \cdot L^{0,70} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$\text{Jika } L > 15 \text{ km : } tg = 0,4 + 0,058 \cdot L \dots\dots\dots(2.33)$$

Nakayasu membagi bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu lengkung naik dan lengkung turun. Pada bagian lengkung naik, besarnya nilai hidrograf satuan dihitung dengan persamaan:

- a. Bagian lengkung naik:

$$Q_p = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan:

Q_a = Limpasan sebelum mencapai debit puncak ($m^3/detik$)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

- b. Pada bagian lengkung turun yang terdiri dari tiga bagian, hitungan limpasan permukaannya adalah:

1. Untuk $Q_d > 0,30 \cdot Q_p$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,30 \frac{t - T_p}{T_{0,3}}$$

2. Untuk $0,30 \cdot Q_p > Q_d > 0,30^2 \cdot Q_p$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t - T_p + 0,5 \cdot T_{0,3})}{1,5 \cdot T_{0,3}}$$

3. Untuk $0,30^2 \cdot Q_p > Q_d$

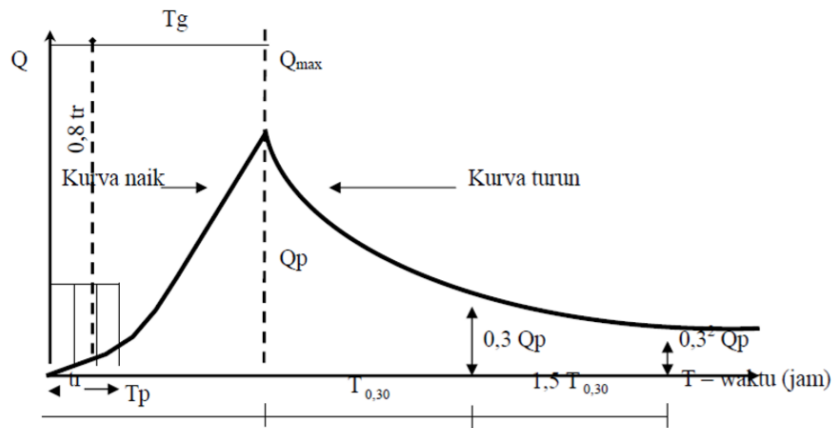
$$Q_d = Q_p \cdot 0,3 \frac{(t - T_p + 1,5 \cdot T_{0,3})}{2 \cdot T_{0,3}}$$

dengan:

Q_p = debit puncak ($m^3/detik$)

t = satuan waktu (jam)

Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai debit menjadi 30% dari debit puncak hidrograf satuan dihitung $T_{0,3} = a \cdot t_g$ dimana a adalah koefisien yang bergantung pada karakteristik DAS.



Gambar 2.6 Hidrograf Satuan Nakayasu
(Sumber: Aplikasi Hidrologi, Nugroho H.)

b. Metode Rational

Debit banjir dihitung menggunakan metode rational dengan langkah-langkah sebagai berikut. Besarnya nilai debit banjir maksimum metode rational dihitung dengan rumus :

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.35)$$

dimana:

Q = debit puncak banjir (m³/det)

A = luas daerah aliran sungai (km²)

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

C = Koefisien Aliran

2.9 HEC-RAS

Untuk menganalisa kapasitas sungai digunakan program yang bernama HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*). HEC-RAS merupakan paket program dari USCE (*United State Corps of Engineer*). Komponen utama dalam analisa HEC-RAS adalah:

- a. Perhitungan profil muka air aliran tetap (*steady flow water surface profile computations*)
- b. Simulasi aliran tak tetap (*unsteady flow simulation*) dan perhitungan profil muka air.

Paket program ini digunakan untuk menghitung profil muka air di sepanjang ruas sungai. Data masukan untuk program ini adalah data cross section di sepanjang sungai, profil memanjang sungai, parameter hidrolika sungai (kekasaran dasar dan tebing sungai), parameter bangunan sungai, debit aliran, dan tinggi muka air dimuara. Sedangkan output dari program ini dapat berupa grafik maupun tabel. Diantaranya adalah plot dari skema alur sungai, potongan melintang, profil, lengkung debit (*rating curve*), hidrograf (*stage and flow hydrograph*), juga variabel hidrolik lainnya. Selain itu juga dapat menampilkan gabungan potongan melintang (*cross section*) yang membentuk alur sungai secara tiga dimensi lengkap dengan alirannya.

2.10 Perencanaan Tanggul

Perencanaan tanggul ditinjau dari kestabilan tanggul dalam dua kondisi, yaitu saat kondisi tanggul kosong dan kondisi tanggul terisi air penuh. Perhitungan stabilitas tanggul dihitung dengan menggunakan debit banjir rencana Q25 tahun pada sungai. Tanggul di sepanjang sungai adalah bangunan yang penting dalam usaha pengendalian banjir. Tanggul dibangun dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan

yang dibuat sepanjang aliran sungai sehingga membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar (Amran dan Surandono, 2020)

2.10.1 Stabilitas Tanggul

Stabilitas tanggul atau stabilitas lereng (*slope stability*) berkaitan dengan kelongsoran tanah. Kelongsoran tanah (*landslides*) adalah proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena tanah kehilangan kesetimbangan daya dukungnya dan akan terhenti apabila telah mencapai kesetimbangan baru. Pada permukaan tanah yang miring, komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar, perlawanan geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya akan terlampaui (Prayuda dan Wahyudim, 2017).

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Analisis stabilitas bertujuan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Faktor keamanan (SF) adalah nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, faktor aman hasil hitungan harus lebih besar dari 1,5. Nilai faktor keamanan (SF) tepat sama dengan 1,5 adalah nilai kritis posisi kesetimbangan antara gaya penahan longsor dan gaya penggerak longsor. Saat penambahan nilai gaya penggerak longsor melebihi dari nilai gaya penahan longsor maka saat itulah mulai terjadinya longsor.

Tabel 2.9 Faktor Keamanan Tanggul

Faktor Keamanan	Kerentanan Gerakan Tanah
$\leq 1,2$	Tinggi : Gerakan Tanah Sering Terjadi
$1,2 < SF \leq 1,7$	Menengah : Gerakan Tanah Dapat Terjadi
$1,7 < SF \leq 2,0$	Rendah : Gerakan Tanah Jarang Terjadi
$> 2,0$	Sangat Rendah : Gerakan Tanah Sangat Jarang Terjadi

Sumber : Ward, R, 1987 dalam SNI 13-7124-2005,2005

Perhitungan stabilitas tanggul menggunakan metode *slice of method* atau metode irisan dengan rumus:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C \cdot \Delta L + (W_i \cos \theta - U_n \cdot \Delta L) \cdot \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta}$$

dimana:

FK= Faktor Keamanan

C = Kohesi Tanah (kN/m²)

φ = Sudut Geser Dalam Tanah (derajat)

2.10.2 Rembesan

Rembesan adalah air yang mengalir melalui tubuh dan pondasi tanggul. Debit rembesan suatu tanggul mempunyai batas-batas tertentu yang mana apabila debit rembesan terlampaui batas tersebut, maka kehilangan air yang terjadi akan cukup besar. Disamping itu debit rembesan yang besar dapat menimbulkan gejala suforsi (piping) serta gejala sembulan (boiling) yang sangat membahayakan kestabilan tubuh tanggul (Surendra, 2015).

A. Cassagrande (1973) dalam Hardiyatmo (2002) mengusulkan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh tanggul yang didasarkan pada pengujian model. Parabola AB berawal dari titik A' seperti yang diperlihatkan dalam gambar dengan $A'A = 0,3 \times (AD)$. Menurut A. Cassagrande, garis rembesan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

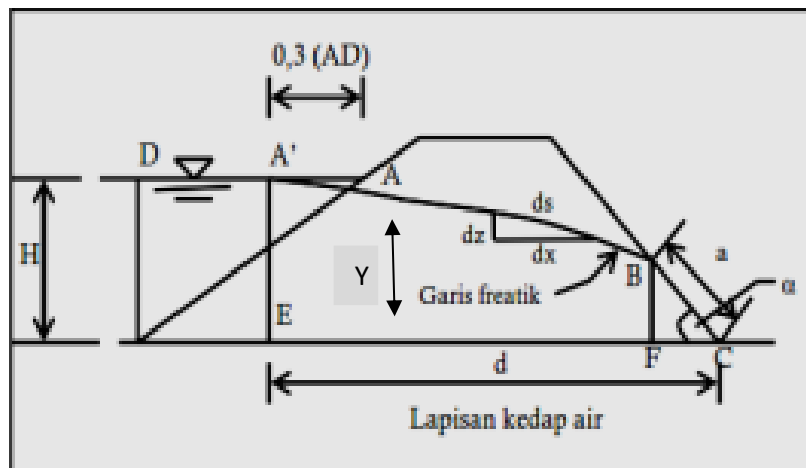
$$Y = \sqrt{2Y_0 \cdot X + (Y_0)^2} \dots\dots\dots 2.35$$

Dimana :

$$Y_o = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots 2.36$$

Keterangan : h = tinggi muka air

d = lapisan kedap air



Gambar 2.7 Garis Rembesan Tanggul